

## Potensi Boron Karbida dengan Doping Serium Oksida sebagai Material Penyerap Gelombang Radar

Muhammad Ghufron Mahali<sup>1\*</sup>, Sovian Aritonang<sup>2</sup>, & Riri Muniarti<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Fisika, Universitas Pertahanan Republik Indonesia

\*Email: [mghufronamahali@mipa.idu.ac.id](mailto:mghufronamahali@mipa.idu.ac.id)

### ABSTRACT

*Throughout the history of warfare, the need for hard military equipment could not be replaced even in prehistoric times. Humans mostly used iron helmets or steel armor to protect the human body from attackers. In the era of World War 1, humans created tanks with thick armor and this technology is still widely used. In its development, after the Vietnam war, the need for advanced materials that can absorb radar radio waves to make military equipment undetectable by radar in the current war is very high, this can be seen in many stealth equipment programs such as the joint strikefighter, Nighthawk, Stealth Ship and many more. Departing from this motivation, further discussion is needed about radar-absorbing materials in this case cerium oxide into boron carbide as a material that is not only super hard but also stealth. In this journal, several literatures are processed to hypothesize whether the doping technique of the two materials will become a promising advanced military material without reducing its strength for further experiments. After the literature study, it can be concluded that there are still additional materials to create super hard and stealth materials such as carbon nanofiber.*

**Keywords:** Radar Adsorbing Material, Super Hard Material, Military

### PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pertahanan khususnya teknologi kapal, tank dan pesawat tempur memerlukan lapisan yang kuat dan keras untuk melindungi dari tembakan musuh. Teknologi seperti tank dan kapal perang memiliki armor yang tebal dengan tujuan melindungi dari tembakan sekalipun data ketebalan armor dari teknologi tersebut, dirahasiakan demi kepentingan negara. Namun dalam lain misi, tetap dibutuhkan juga kerahasiaan pelaksanaan operasi, dan kesunyian yang akan memberikan keuntungan tinggi dalam setiap operasi pertempuran. Dengan taktik ‘tersembunyi’ kapal ataupun pesawat dapat mendekat terhadap musuh serta menembak musuh tersebut tanpa diketahui. Baik dalam arena darat, laut, maupun udara, cara ini dapat memberikan keuntungan yang tinggi bagi penggunaannya.

Karena alasan tersebut, dapat dilihat bahwa dibutuhkan suatu material yang tidak hanya sangat keras namun mampu menyerap gelombang radio yang ditransmisikan oleh radar. Melihat kebutuhan tersebut akan dilakukan kajian literatur mengenai teknik doping material Serium Oksida sebagai kandidat material penyerap gelombang radar terhadap Boron Karbida yang bersifat keras dan tahan panas. Hasil dari kajian ini akan dilihat bagaimana pengaruh campuran kedua bahan tersebut terhadap karakteristik kekuatan material dan kemampuan adsorpsi radar dari material tersebut. Penelitian dan analisis ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui penjelasan dasar tentang bahan doping Cerium Boron Karbida sebagai bahan masa depan berdasarkan doktrin pertahanan Indonesia. Beberapa pekerjaan pada segmen ini dianalisis untuk membuat hipotesis sebelum penelitian dilaksanakan dengan mempertimbangkan teori dasar bahan penyerap radar dan sifat bahan dasar. Penelitian ini dapat bermanfaat sebagai referensi untuk merancang material yang dapat diterapkan pada kendaraan darat atau kapal perang modern yang membutuhkan kombinasi antara karakteristik siluman dan super keras. Keberadaan jurnal ini pada masyarakat umum dapat dijadikan sebagai informasi baru dan landasan teori ilmu pengetahuan. Masyarakat dapat menjadikan jurnal ini sebagai referensi penelitiannya untuk membuktikan hipotesis ini.

## METODE PENELITIAN

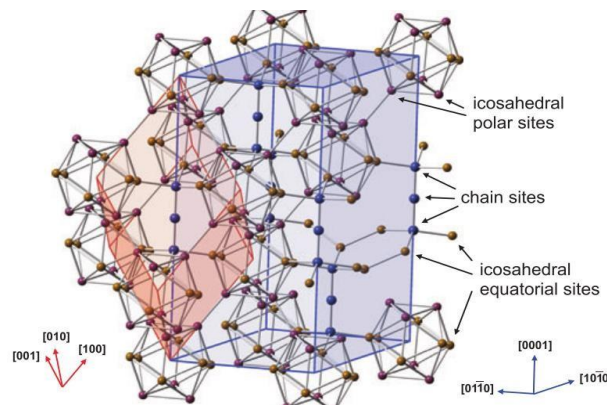
Paper disusun dengan mengkaji jurnal-jurnal terdahulu untuk menelusuri kandidat material masa depan yang berpotensi untuk diaplikasikan dalam bidang militer. Berbagai topik jurnal yang didalami dan ditelusuri mulai dari topik yang berkaitan dengan masalah terkini dalam dunia militer hingga topik mengenai sifat-sifat material yang berpotensi menjadi jawaban dalam permasalahan dunia militer sebelumnya. Dijelaskan dalam berbagai konflik yang sedang berkecamuk, kemampuan alutsista menahan gempuran serangan musuh dan kerahasiaan pergerakan pasukan menjadi poin yang menentukan hasil operasi. Dari permasalahan tersebut, posibilitas dari dua material yaitu Boron Karbida (B<sub>4</sub>C) dan Serium Oksida (CeO<sub>2</sub>) berpotensi sebagai kandidat untuk menjawab tantangan dalam dunia militer terkini.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Material

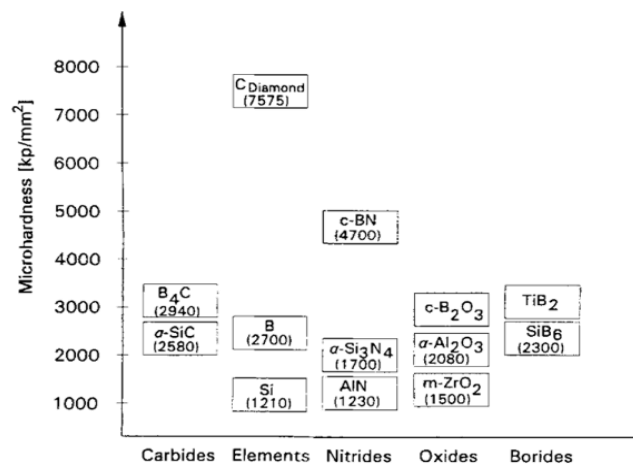
#### 1. Boron Karbida

Struktur atom boron karbida telah banyak dibahas pada penelitian sebelumnya. Struktur utama boron karbida, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, adalah ikosahedron 12 atom yang disusun miring pada permukaan segitiga dan 3 atom yang menghubungkan ikosahedron ke sumbu belah ketupat (111) adalah satu atom [1].



Gambar 1. Struktur Atomik Boron Karbida[2]

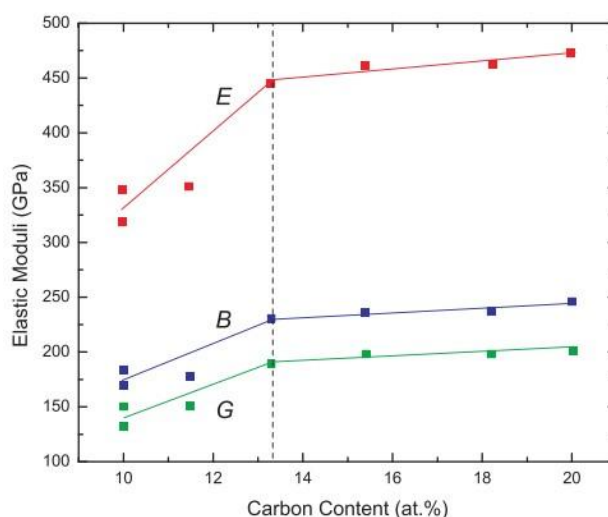
Keunikan boron karbida dalam aplikasi militer adalah sangat kuat dibandingkan material lain, hanya dikalahkan oleh intan dan c-BN[3]. Selain itu, kemampuan boron karbida sebagai bahan pelapis anti balistik [4] juga ditunjukkan dengan tingginya nilai modulus elastisitas seperti terlihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 2. Tingkat Kekuatan Beberapa Material [5]

Tabel 1. Nilai Modulus Boron Karbida [6]

Stoichiometry	at. % C	Bulk Modulus		Young Modulus [Gpa]	Shear Modulus [GPa]	Poisson ratio exp.
		exp.	Calc.			
B4C	20.0	247	246	472	200	0.18
		235	234	462	197	0.17
		199	248	448	188	0.21
			239	441		
			220			
B4.5C	18.2	237		463	197	0.17
B5.6C	15.2	236		462	197	0.17
		237		460	195	0.18
B6.5C	13.3	231	217	446	189	0.18
			227			
B7.7C	11.5	178		352	150	0.17
B9C	10.0	183		319	150	0.21
		130		348	132	0.16

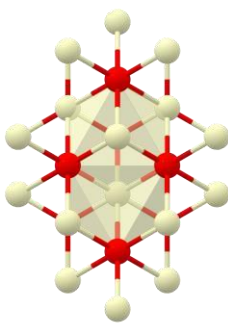


Gambar 3. Perbandingan Elastisitas (E Young, B Bulk, G Shear) [7]

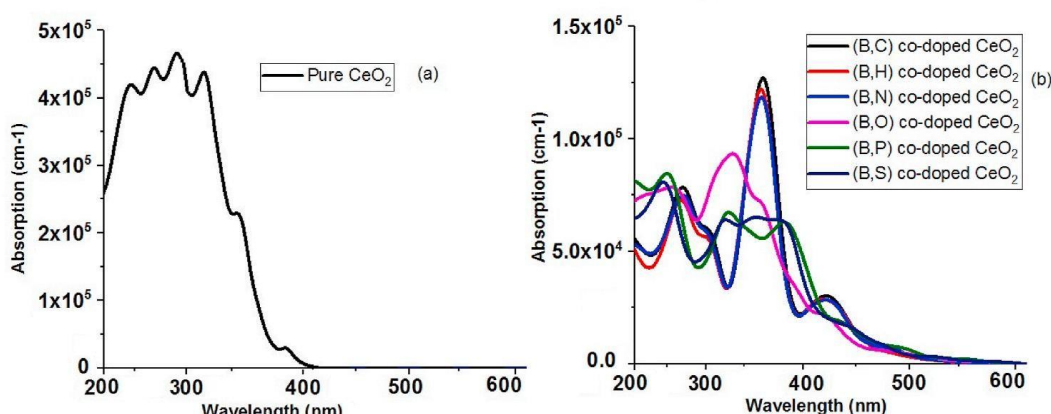
Grafik perbandingan elastisitas menunjukkan hubungan antara kandungan karbon (dalam persen atomik) dengan elastisitas Boron Karbida yang diwakili oleh tiga parameter, yaitu modulus Young (E), modulus Bulk (B), dan modulus Geser (G). Modulus Young (E) mengalami peningkatan signifikan dan kemudian cenderung stabil pada nilai yang lebih tinggi, hal ini menunjukkan kekakuan material yang meningkat seiring bertambahnya karbon. Modulus Bulk (B) juga mengalami peningkatan, meskipun dengan laju yang lebih lambat dibandingkan modulus Young, sedangkan modulus Geser (G) relatif stabil di seluruh rentang kandungan karbon. Pola ini mengindikasikan bahwa sifat mekanik Boron Karbida, terutama kekakuan dan ketahanannya terhadap deformasi elastis, sangat dipengaruhi oleh kandungan karbon, menjadikannya material yang kuat dan kaku dengan karakteristik elastisitas yang bervariasi sesuai komposisi karbonnya.

## 2. Serium Oksida

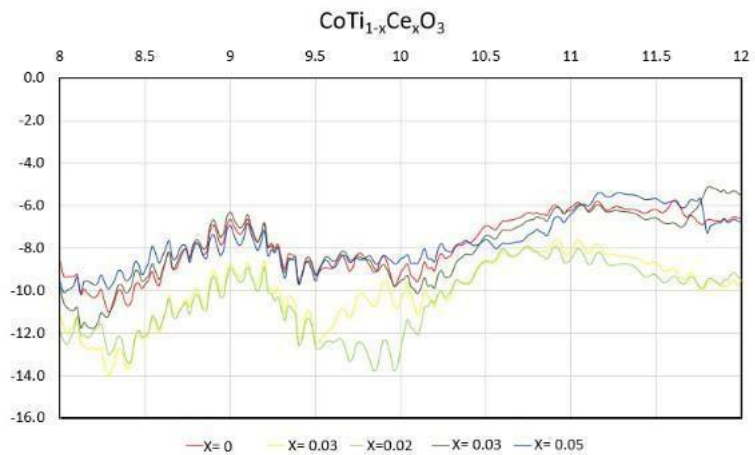
Cerium termasuk dalam golongan logam lantanida dalam tabel periodik, yang memiliki struktur fluorit dalam bentuk teroksidasi [8]. Sedangkan Serium Oksida atau yang juga disebut sebagai ceria merupakan material yang terbentuk dari logam tanah jarang Serium. CeO<sub>2</sub> ini sendiri memiliki 3 jenis struktur yaitu Hexagonal, Trigonal dan Cubic sebagaimana yang ditampilkan pada gambar [9].

Gambar 4. Struktur CeO<sub>2</sub> [10]

Sifat nanopartikel Cerium menawarkan keuntungan dalam mempertahankan sifat katalitik di lingkungan yang tidak bersahabat. Aplikasi cerium oksida terutama terkonsentrasi di bidang medis dan komersial lainnya [11]. CeO<sub>2</sub>, khususnya serium sebagai logam tanah jarang (REEs) diprediksi mempunyai fungsi yang sangat berguna dalam dunia militer [12]. Cerium Oksida kemungkinan memiliki kemampuan untuk menyerap gelombang yang datang karena memiliki ketahanan termal dan konduktivitas yang baik dengan *band gap* sebesar 1,90 eV untuk struktur tetragonal, 1,86 untuk struktur kubik dan 0,89 eV untuk struktur tetragonal [13]. Selain itu, apabila digunakan pada alutsista militer seperti tank dan kapal perang, kemampuan tersebut memungkinkannya untuk menurunkan nilai RCS (Radar Cross Section). [13] Sederhananya, dengan kemampuan serap gelombang radio dapat membuat kendaraan tempur lebih sulit dideteksi. Dari segi kekerasan, CeO<sub>2</sub> memiliki nilai modulus bulk sebesar 120-180 GPa yang tergolong rendah bila dibandingkan dengan Boron Karbida [14]. CeO<sub>2</sub> juga cukup berat karena kepadatannya yang tinggi [15]. Performa yang ditunjukkan oleh CeO<sub>2</sub> dalam menyerap gelombang tidak cocok sebagai material penyerap gelombang radar yang berkerja pada spektrum gelombang radio. Hal ini ditunjukkan pada data yang didapatkan oleh Ullah *et al.* dimana kemampuan serap gelombang CeO<sub>2</sub> tertinggi pada 250-350 nm yang dimana merupakan spektrum gelombang ultraviolet seperti pada gambar 7.

Gambar 5. Spektrum Absorpsi Gelombang CeO<sub>2</sub> [16]

Dalam kasus yang berbeda, penggunaan CeO<sub>2</sub> sebagai bahan doping terhadap bahan campuran Cobalt-Titanium memperlihatkan hasil yang cukup menjanjikan. Pada gambar 8, bahan campuran CoTiCeO memberikan hasil yang optimal dalam menyerap radar pada spektrum X-band (8-12 GHz) [12]. Hal ini dapat terjadi karena campuran kedua bahan tersebut memberikan efek yang baik pada sifat magnetik dan dielektrik yang dimana gelombang pada spektrum X-Band material ini mampu meneruskan gelombang dan tidak dipantulkan kembali



Gambar 6. Reflection Loss CoTi-CeO [12]

## Material dalam Militer

### 1. Cara Kerja Radar

Dalam sejarah perkembangan peperangan, tugas mengetahui strategi musuh dan memata-matai pergerakan merupakan poin penting yang dapat mengubah jalannya perang. Setelah Perang Dunia 1 tugas-tugas ini secara bertahap digantikan oleh radar peringatan dini (EWR). Dengan adanya radar, persiapan menghadapi serangan musuh dapat dilakukan dengan lebih efisien, cepat dan tepat [17].

Radar adalah sistem yang memancarkan gelombang elektromagnetik yang digunakan untuk mendeteksi dan menemukan lokasi suatu objek [18]. Sederhananya, radar memiliki komponen yang berperan langsung dalam pendeteksian objek. Pemancar pertama bertindak sebagai inisiasi awal pembentukan gelombang. Ia juga memiliki antena yang berfungsi sebagai pemancar gelombang radio dari pemancar dan menerima gelombang pantulan. Komponen ketiga adalah penerima, yang berfungsi sebagai komponen penerima sekaligus penerjemah gelombang yang ditangkap antena.

### 2. Radar Cross Section (RCS)

Dengan evolusi peperangan akhir-akhir ini, seni pertahanan semakin beralih dari pertempuran langsung ke pertempuran yang berupaya mengidentifikasi dan menghilangkan ancaman secepat dan sedini mungkin. Bahkan dalam pertempuran udara ada semboyan “tetap hidup, sembunyikan dirimu dan lihat lawan sebelum dia melihatmu”. Salah satu upaya untuk “menghilang” dalam pertempuran adalah dengan mengurangi nilai penampang radar.

*Radar Cross Section* dapat digambarkan sebagai kemampuan gelombang radio yang memantul kembali menuju receiver pada radar [19]. Nilai RCS dari sebuah target setara dengan luas area yang dideteksi oleh radar. Singkatnya, semakin rendah nilai RCS maka semakin sulit radar mendeteksi objek tersebut. Dua metode pengurangan penampang radar (RCSR) yang paling umum digunakan adalah desain bentuk dan penggunaan bahan penyerap radar [20]. Teknik desain digunakan sebagai langkah awal dalam aplikasi yang mengontrol nilai RCS. Dalam hal ini, objek tersebut telah mencapai tahap semi-siluman. Dengan menggunakan teknik penambahan sudut pantul dalam pesawat, badan pesawat akan didesain untuk memantulkan atau mengalihkan gelombang dari deteksi radar. Penerapan teknologi ini dibatasi oleh berkurangnya performa aerodinamis pesawat, sehingga mengurangi kemampuan manuver.

Peningkatan siluman tingkat selanjutnya adalah penggunaan jenis adsorben radar pada alutsista. Bahan penyerap radar yang dibahas dalam banyak penelitian bekerja secara berbeda dibandingkan proses desain badan pesawat [21]. Untuk memahami cara kerja RAM, kita harus mengingat salah satu sifat gelombang: penyerapan atau adsorpsi. Bahan penyerap radar menggunakan banyak kemampuan material tertentu untuk menyerap gelombang radar. Alih-alih memantulkan gelombang dari radar, RAM menyerap gelombang radar ke dalam materialnya sehingga tidak memantul kembali ke radar [22].

### 3. Coating

Coating RAM menjadi salah satu cara mengaplikasikan material RAM berupa lapisan yang dipasang pada permukaan alat utama sistem persenjataan (alutsista), seperti pesawat tempur, kapal perang, rudal, dan kendaraan darat militer. Tahapan pertama biasanya dimulai dengan persiapan permukaan, yang meliputi pembersihan dan penghalusan area yang akan dilapisi untuk memastikan lapisan RAM dapat menempel dengan baik tanpa adanya celah udara yang bisa mengurangi efektivitas penyerapan radar [23]. Permukaan kemudian dilapisi primer khusus yang berfungsi sebagai perekat antara permukaan alutsista dan lapisan RAM, serta membantu meningkatkan ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem. Setelah itu, material RAM diaplikasikan sesuai metode yang telah disesuaikan dengan jenis material RAM yang digunakan—apakah berbentuk cairan, lembaran, atau partikel nano [24]. Dalam metode semprot (spray coating), misalnya, lapisan RAM berbasis polimer atau ferromagnetik cair disemprotkan secara merata untuk mendapatkan ketebalan optimal sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

Proses ini sering kali diulang untuk membentuk beberapa lapisan, karena ketebalan material RAM berperan penting dalam penyerapan frekuensi radar tertentu. Untuk coating berbasis lembaran atau film, lembaran RAM dipotong sesuai bentuk dan ukuran yang diinginkan, lalu ditempelkan ke permukaan alutsista dengan perekat khusus, serta diperkuat dengan proses penekanan dan pemanasan agar lapisan ini melekat secara merata. Pada aplikasi teknologi nano, material RAM berbasis nanopartikel sering kali dicampur dengan resin khusus, lalu disemprotkan secara presisi pada permukaan dengan kontrol ketebalan yang sangat detail. Seluruh proses pelapisan biasanya diakhiri dengan aplikasi lapisan pelindung transparan atau cat anti-korosi untuk memperpanjang umur lapisan RAM, melindunginya dari kelembaban, suhu tinggi, atau gesekan saat alutsista bergerak di medan yang sulit. Proses coating RAM ini membutuhkan perhatian tinggi terhadap kualitas setiap tahapannya, karena ketidaksempurnaan kecil saja dapat mengurangi keefektifan pelapisan dalam mengurangi deteksi radar.

Salah satu tantangan dalam penerapan coating RAM yang optimal adalah memastikan lapisan ini tahan terhadap berbagai kondisi cuaca dan lingkungan, seperti kelembaban, suhu ekstrem, dan paparan sinar ultraviolet yang dapat merusak struktur material dan menurunkan efektivitas penyerapan radar. Oleh karena itu, pengembangan coating RAM juga fokus pada peningkatan daya tahan dan kemampuan adaptasi terhadap kondisi lingkungan yang berubah-ubah. Dalam aplikasi militer, coating RAM juga harus mampu bertahan terhadap gesekan dan tekanan fisik, terutama pada pesawat yang terbang dalam kecepatan tinggi atau kapal yang menghadapi lingkungan laut yang keras. Berbagai upaya ini menciptakan material RAM yang semakin canggih dan tangguh, serta lebih efektif dalam membantu berbagai platform militer mempertahankan keunggulan taktis dengan mengurangi deteksi radar di medan pertempuran.


## KESIMPULAN

Sifat boron karbida memiliki kekuatan dan ketahanan terhadap balistik dengan tetap mempertahankan kepadatan rendah menjadikannya pelat baja yang menguntungkan untuk peralatan pertahanan. Sebagai bahan yang tersusun dari logam tanah, Serium Oksida tidak memiliki kemampuan menyerap gelombang pada spektrum radio melainkan hanya pada spektrum *ultraviolet*, kemungkinan yang paling baik dalam penggunaan CeO<sub>2</sub> sebagai bahan anti radar adalah dengan mencampurkannya dengan bahan lain seperti *Cobalt-Titanium-Oxide* (CoTiO). Teknik doping yang digunakan untuk menurunkan nilai RCS suatu benda sebagian besar adalah teknik pelapisan, namun Penggunaan teknik doping B<sub>4</sub>C, CeO<sub>2</sub>, dan bahan material tambahan juga tidak menutup memungkinkan dibuatnya material yang tidak hanya keras tetapi juga mampu menyerap gelombang radar.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. G. Crouch, G. V Franks, C. Tallon, S. Thomas, and M. Naebe, "7 - Glasses and ceramics," in *The Science of Armour Materials*, I. G. Crouch, Ed., in Woodhead Publishing in Materials. , Woodhead Publishing, 2017, pp. 331–393. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100704-4.00007-4>.

- [2] C. Cheng, Kolan. M. Reddy, A. Hirata, T. Fujita, and M. Chen, "Structure and mechanical properties of boron-rich boron carbides," *J Eur Ceram Soc*, vol. 37, no. 15, pp. 4514–4523, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2017.06.017.
- [3] M. R. Ramadhan *et al.*, "Investigation of structural and electronic properties of boron carbide based on SCAN meta-GGA functional," 2023, p. 020030. doi: 10.1063/5.0114223.
- [4] A. Sharma, S. Srinivasan K V, M. Dixit, A. K. Gupta, and R. Sujith, "Ballistic performance of functionally graded boron carbide reinforced Al – Zn – Mg – Cu alloy," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 18, pp. 4042–4059, May 2022, doi: 10.1016/j.jmrt.2022.04.059.
- [5] G. Pintaude, "Hardness as an indicator of material strength: a critical review," *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, vol. 48, no. 5, pp. 623–641, Sep. 2023, doi: 10.1080/10408436.2022.2085659.
- [6] R. Kuliiev, "Mechanical Properties of Boron Carbide (B4C)," 2020. doi: 10.13140/RG.2.2.32343.24483.
- [7] C. Baron, H. Werner, and H. Springer, "On the effect of carbon content and tempering on mechanical properties and stiffness of martensitic Fe–18.8Cr–1.8B–xC high modulus steels," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 809, p. 141000, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.msea.2021.141000.
- [8] M. Nyoka, Y. E. Choonara, P. Kumar, P. P. D. Kondiah, and V. Pillay, "Synthesis of Cerium Oxide Nanoparticles Using Various Methods: Implications for Biomedical Applications," *Nanomaterials*, vol. 10, no. 2, p. 242, Jan. 2020, doi: 10.3390/nano10020242.
- [9] O. Matz and M. Calatayud, "H<sub>2</sub> Dissociation and Oxygen Vacancy Formation on Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Surfaces," *Top Catal*, vol. 62, Sep. 2019, doi: 10.1007/s11244-019-01183-0.
- [10] H. Bärnighausen and G. Schiller, "The crystal structure of A-Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>," *Journal of the Less Common Metals*, vol. 110, no. 1–2, pp. 385–390, Aug. 1985, doi: 10.1016/0022-5088(85)90347-9.
- [11] F. Charbgoon, M. Ahmad, and M. Darroudi, "Cerium oxide nanoparticles: green synthesis and biological applications," *Int J Nanomedicine*, vol. Volume 12, pp. 1401–1413, Feb. 2017, doi: 10.2147/IJN.S124855.
- [12] Ob. R. and A. A. W. Imastuti, "Efek Substitusi Logam Tanah Jarang Terhadap Karakterisasi Radar Absorber Material Berbasis **CoTi<sub>1-x</sub>Ce<sub>x</sub>O<sub>3</sub>** Dengan Metode Mechanical Milling Guna Meningkatkan Kualitas Teknologi Pertahanan," *Jurnal Teknologi Daya Gerak*, vol. 2, pp. 64–81, 2019.
- [13] J. M. Munro, K. Latimer, M. K. Horton, S. Dwaraknath, and K. A. Persson, "An improved symmetry-based approach to reciprocal space path selection in band structure calculations," *NPJ Comput Mater*, vol. 6, no. 1, p. 112, Jul. 2020, doi: 10.1038/s41524-020-00383-7.
- [14] M. de Jong *et al.*, "Charting the complete elastic properties of inorganic crystalline compounds," *Sci Data*, vol. 2, no. 1, p. 150009, Mar. 2015, doi: 10.1038/sdata.2015.9.
- [15] R. Tran *et al.*, "Surface energies of elemental crystals," *Sci Data*, vol. 3, no. 1, p. 160080, Sep. 2016, doi: 10.1038/sdata.2016.80.
- [16] M. Ullah, A. M. Rana, U. Mehtab, and M. Farooq, "Study of structural, electronic and optical properties of co-doped CeO<sub>2</sub> using the density functional theory (DFT) method," *Mater Sci Semicond Process*, vol. 130, p. 105800, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.mssp.2021.105800.
- [17] A. S. M, C. A. Kowshik, R. N. V, and C. V Reddy, "EVOLUTION AND APPLICATIONS OF RADAR," *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2020, [Online]. Available: [www.irjet.net](http://www.irjet.net)
- [18] X. Dérobert, J.-P. Balayssac, Z. M. Sbartaï, and J. Dumoulin, "Electromagnetic Methods," in *Non-Destructive Testing and Evaluation of Civil Engineering Structures*, Elsevier, 2018, pp. 87–137. doi: 10.1016/B978-1-78548-229-8.50003-0.
- [19] O. Gohardani, M. C. Elola, and C. Elizetxea, "Potential and prospective implementation of carbon nanotubes on next generation aircraft and space vehicles: A review of current and expected applications in aerospace sciences," *Progress in Aerospace Sciences*, vol. 70, pp. 42–68, Oct. 2014, doi: 10.1016/j.paerosci.2014.05.002.

- ◆ 
- [20] H. Singh, “Radar cross section minimization analysis for different target shapes,” *Mater Today Proc*, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.10.306.
- [21] F. Ruiz-Perez, S. M. López-Estrada, R. V. Tolentino-Hernández, and F. Caballero-Briones, “Carbon-based radar absorbing materials: A critical review,” *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, vol. 7, no. 3, p. 100454, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.jsamd.2022.100454.
- [22] C. G. Jayalakshmi, A. Inamdar, A. Anand, and B. Kandasubramanian, “Polymer matrix composites as broadband radar absorbing structures for stealth aircrafts,” *J Appl Polym Sci*, vol. 136, no. 14, Apr. 2019, doi: 10.1002/app.47241.
- [23] A. Kumar and S. Singh, “Development of Coatings for Radar Absorbing Materials at X-band,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 330, p. 012006, Mar. 2018, doi: 10.1088/1757-899X/330/1/012006.
- [24] A. Akbarpour and S. Chamaani, “Effect of radar absorbing material coating on natural poles of metal cylinder and plate,” in *2017 Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, IEEE, May 2017, pp. 2037–2040. doi: 10.1109/IranianCEE.2017.7985393.